



改进型后张法大管桩抗弯试验研究

谭德银¹, 桑登峰¹, 苏林王^{1,2}, 胡若邻¹

(1. 中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州510231; 2. 华南理工大学, 广东 广州 510640)

摘要: 采用四点弯曲试验方法, 对6根改进型后张法大管桩进行抗弯试验, 测得桩身开裂弯矩和极限弯矩, 并与国内同类型高性能管桩的抗弯性能进行对比分析。结果表明: 改进型后张法大管桩的抗裂性能有很大的提高, 而极限抗弯承载力提高不明显, 在小范围内提高混凝土有效预压应力能提高管桩的抗裂性能; 同时, 悬臂端的长度对抗弯试验有很大的影响, 悬臂端的最佳长度为 $0.08L\sim 0.1L$ 。

关键词: 后张法大管桩; 抗裂弯矩; 极限弯矩; 悬臂端

中图分类号: U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)03-0190-05

Experimental study on bending test of new large-diameter post-tensioned prestressed concrete cylinder pile

TAN De-yin¹, SANG Deng-feng¹, SU Lin-wang^{1,2}, HU Ruo-lin¹

(1. CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co.,Ltd., Guangzhou 510231, China;

2. South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Bending tests of six large-diameter post-tensioned prestressed concrete piles are carried out by the four-point bending method, and the cracking capacity and ultimate bearing capacity are obtained. The results of bending tests are compared with those for other piles widely used in China. The results show that the flexural performance of large-diameter post-tensioned prestressed concrete pile is better than that of other piles, so we can conclude that the ultimate flexural capacity of concrete piles can be improved by increasing the effective prestress within a small range. We also find that the length of cantilever is important in bending test, and the recommendable length of cantilever is between $0.08L$ and $0.1L$.

Key words: post-tensioned prestressed concrete cylinder pile; cracking capacity; bearing capacity; cantilever

预应力混凝土管桩有效克服了混凝土管桩抗弯性能的不足, 且其单桩承载力高、耐久性好、施工快、质量可靠等优点使其在水运码头、工业民用建筑、铁路桥梁等众多领域得到了广泛的应用。国内外大量学者也对其进行了深入的研究, 刘俊伟等^[1]对2根直径为600 mm的先张法预应力管桩进行了抗弯试验研究, 发现桩身裂缝分布于跨中3 m范围内, 最大应力位于跨中纯弯段内, 桩身开裂后仍具有较高的抗弯承载力。张忠苗等^[2]对8

根直径600 mm的先张法加强型预应力管桩进行了抗弯试验研究, 认为非预应力螺纹钢筋的配置较大幅度提高了预应力混凝土管桩的抗弯性能, 且原有预应力钢筋配筋率越低效果越明显, 但抗裂性能没有明显改善。卓杨等^[3]对直径800 mm的先张法离心钢管混凝土管桩进行了抗弯性能研究, 认为可以采用提高含钢率来提高离心钢管混凝土管桩的抗弯极限承载力。

从上述研究可以发现, 关于混凝土管桩的研

收稿日期: 2012-08-27

作者简介: 谭德银(1979—), 男, 硕士, 工程师, 从事水运工程检测、评估与维修加固的研究。

究大都集中在中小直径先张法预应力管桩上,而随着工程技术的发展以及施工技术的进步,对预应力混凝土管桩的要求也越来越高。预应力管桩结构设计日益复杂,桩径越来越大,桩长也越来越长。预应力管桩对抗裂弯矩和极限弯矩的要求也越来越高。PHC桩为先张法预应力管桩,由于其工艺特点及施工条件,PHC桩的抗弯、抗拉能力及其混凝土有效预压应力基本已达到该类型桩的极限^[4-6]。改进型后张法大管桩有效克服了PHC桩有效预压应力不足的缺点,但是增加混凝土有效预压应力是否能提高预应力管桩的抗弯性能还有待试验验证。为了对有效预压应力提高后的管桩结构的抗弯能力进行研究,首先对6根改进型后张法大管桩

进行抗弯试验,得到了桩身开裂弯矩和极限弯矩等试验结果。然后通过与国内同类型高性能管桩的抗弯性能进行对比,明确改进型后张法大管桩的抗弯承载能力。同时对抗弯试验悬臂端长度对试验的影响进行研究,明确悬臂端取值范围。

1 试验概况

本次试验采用四点弯曲试验方法对6根改进型后张法大管桩进行抗弯性能研究,为验证性试验,以试验桩达到设计要求为目的。试验测试内容包括加载过程中桩身关键截面应力分布、挠度变化、裂缝发展及断裂性状4大部分。试验桩的基本情况如表1所示。

表1 试验桩概况

试验类型	试桩编号	桩外径/mm	壁厚/mm	预应力筋配置	桩长/m	有效预应力/MPa
管节抗弯	1#	1 200	145	48 ϕ 15.2	24	15.6
	2#	1 200	145	48 ϕ 15.2	24	15.6
	3#	1 200	145	48 ϕ 15.2	24	15.6
接头抗弯	4#	1 200	145	48 ϕ 15.2	16	15.6
	5#	1 200	145	48 ϕ 15.2	16	15.6
	6#	1 200	145	48 ϕ 15.2	16	15.6

2 试验设备及加载方式

试验装置参考国家相关标准规范^[7-8],采用反力架加载装置,加载采用自锁式稳压千斤顶,挠度测度采用百分表进行,应变的观测采用电阻应变(120 Ω ,标距5 cm)片,应变采集装置采用UCAM-60B静态应变仪,裂缝宽度测试采用RS-CK裂缝宽度测试仪。裂缝分布采用裂缝展开图的方式记录。管节本身抗弯试验装置如图1所示,管桩接头抗弯试验悬臂端为0.8 m,接头位置在跨中,其它设备安装布置如图1所示。

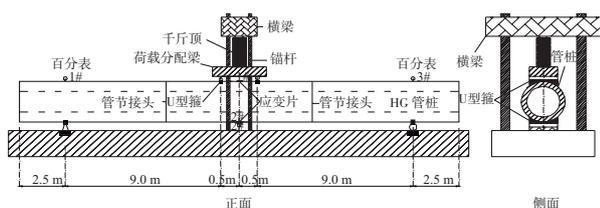


图1 抗弯试验装置

试验的加载方式参考GB 13479—2009《先张法预应力混凝土管桩》^[7]确定,抗弯试验采用分级

加载。试验过程采集的数据包括荷载值、跨中挠度、支座沉降、混凝土应变和开裂情况等,并跟踪裂缝发展的过程。

当出现以下情况之一时可认为是抗裂荷载的检验标志:1)出现肉眼可见裂纹;2)混凝土应变突变;3)百分表指针跳动。当出现以下情况之一时可认为是极限荷载的检验标志:1)构件受压区混凝土破坏;2)受拉钢筋被拉断;3)受拉主筋处的最大裂缝宽度达到1.5 mm。

桩身抗裂弯矩和极限弯矩判断参考GB 13479—2009《先张法预应力混凝土管桩》^[7]确定:1)当在试验加载过程中出现上述检验标志时,应取前一级荷载值作为检验荷载的实测值;2)在规定的荷载持续时间内出现上述检验标志时,取本级荷载值与前一级荷载值的平均值作为其检验荷载的实测值;3)当在规定的荷载持续时间结束后出现上述检验标志时,取本级荷载值作为其检验荷载实测值。

3 试验结果分析

3.1 管节本身抗弯性能

24 m(8×3)的后张法大管桩的弯矩计算公式为:

$$M = \frac{P_0 + P_1}{r}(19 - 2a) + 530.04 \quad (1)$$

式中: $p_0=5.5$ kN (分配梁、千斤顶和U型箍总重) $L=24$ m, $a=0.5$ m, p_1 为试验荷载加载值。

根据管桩本身抗弯试验的荷载-跨中挠度曲线(图2)和试验桩跨中荷载-应力发展情况(图3), 试验桩加载过程大致可分为2个阶段: 1) 荷载0~550 kN, 荷载-挠度曲线成线性分布, 结构抗弯刚度约为20 kN/mm, 受拉区和受压区荷载-应力曲线呈线性增长; 2) 荷载550 kN至终止加载, 荷载-挠度曲线呈现明显的非线性, 结构抗弯刚度逐渐减小, 受拉区应力出现陡降, 说明结构已开裂, 受拉区混凝土逐渐退出工作, 受压区荷载-应力曲线呈线性, 受压区混凝土压应力不断增大, 最大可达40 MPa。

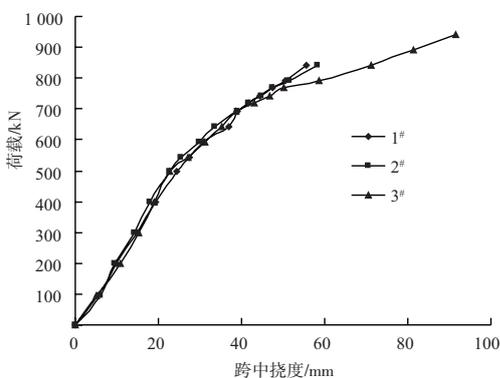


图2 管节抗弯试验跨中挠度曲线

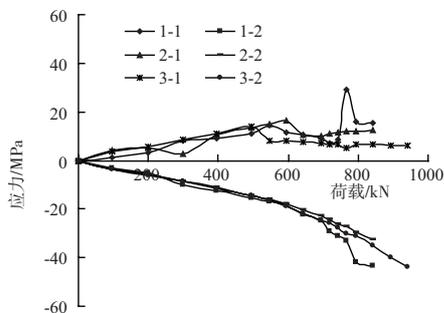


图3 管节抗弯试验应力曲线

分析表2中管节裂缝发展状况, 开裂荷载在545.1 kN左右, 第一条裂缝都出现在加载点的下方, 裂缝都分布在加载点下方1.5 m范围内, 本次试验为验证性试验, 只选择3#桩做到破坏, 破坏

荷载为941.5 kN。通过式(1)计算管节弯矩, 管节实测平均抗裂弯矩为3 007 kN·m, 超过设计抗裂弯矩12%; 3#实测极限弯矩为4 792 kN·m, 超过设计极限弯矩32.5% (表3)。

表2 管节抗弯试验裂缝发展状况

荷载/kN	最大裂缝宽度/mm		
	1#	2#	3#
545.1	0.01		0.05
594.6	0.06	0.10	0.10
644.2	0.10	0.30	0.30
693.7	0.20	0.40	0.50
743.3	0.40	0.60	0.60
768.0	0.50	0.70	0.70
790.2	0.60	0.90	0.90
842.4	0.80	1.00	0.90
891.9			1.00
941.5			1.60

表3 实测值与设计值对比分析

桩号	抗裂弯矩/(kN·m)		差值率/%	极限弯矩/(kN·m)		差值率/%
	实测值	设计值		实测值	设计值	
	1#	3 119		16.3	>4 346	
2#	3 008	2 681	12.2	>4 346	3 617	20.1
3#	2 896		8.0	4 792		32.5

3.2 管桩接头抗弯性能

16 m(8 m×2)的后张法大管桩的弯矩计算公式为

$$M = \frac{P_0 + P_1}{4}(0.9L - 2a) + 0.1qL^2 \quad (2)$$

式中: $p_0=5.5$ kN, $L=16$ m, $a=0.5$ m, $q=12.62$ kN/m, p_1 为试验荷载加载值。

根据管桩接头抗弯试验的荷载-跨中挠度曲线(图4)和试验桩跨中荷载-应力发展情况(图5), 试验桩加载过程大致可分为2个阶段: 1) 荷载0~700 kN, 荷载-挠度曲线成线性分布, 结构抗弯刚度约为45 kN/mm, 受拉区和受压区荷载-应力曲线呈线性增长; 2) 荷载700 kN至终止加载, 荷载-挠度曲线呈现明显的非线性, 结构抗弯刚度逐渐减小, 受拉区应力出现陡降, 说明结构已开裂, 受拉区混凝土逐渐退出工作, 受压区荷载-应力曲线呈线性, 受压区混凝土压应力不断增大,

最大可达35 MPa。

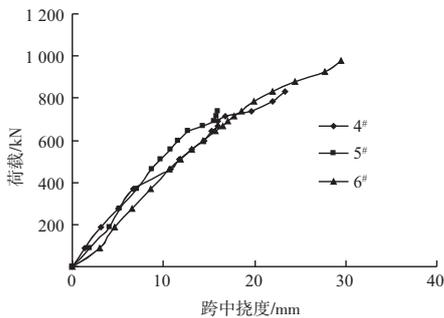


图4 管节接头抗弯试验跨中挠度曲线

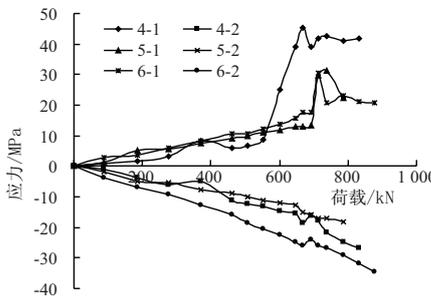


图5 管节接头抗弯试验应力曲线

管节接头开裂荷载在738 kN左右, 裂缝出现在管节处、管节两端两侧外壁和管节两端内壁上下部, 管节两端外壁先于跨中出现裂缝; 其中6#桩破坏荷载为980 kN, 破坏形式为受压区混凝土压碎。通过式(2)计算管节接头试验弯矩, 管节接头实测平均抗裂弯矩为2 775 kN·m, 超过设计抗裂弯矩3.5% (表4); 6#桩实测极限弯矩为3 621 kN·m, 超过设计极限弯矩0.1%。

表4 实测值与设计值对比分析

桩号	抗裂弯矩/(kN·m)		差值率/%
	实测值	设计值	
4#	2 775	2 681	3.5
5#	2 814	2 681	5.0
6#	2 737	2 681	2.1

分析表3和表4可知, 管节本身抗裂弯矩和极限弯矩要远高于设计值, 而管节接头的抗裂弯矩和极限弯矩接近设计值, 分析结果表明提高管节接头的抗弯性能可有效提高管桩的抗弯性能。

3.3 改进型管桩及国内同类桩型抗弯性能对比

目前国内应用较广泛的几种高性能大直径管桩, 分别是后张法D1200B48-1管桩^[6]、先张

法PHC1200B管桩、先张法PHC1200C管桩^[7], 其中规范^[6]中明确的给出了D1200B48-1管桩的抗裂弯矩, 规范^[7]中也明确的给出了PHC1200B管桩和PHC1200C管桩的抗裂弯矩和极限弯矩。

改进型后张法大管桩的抗弯性能与上述管桩的抗弯性能对比如表5所示。改进型后张法大管桩的抗裂弯矩是目前广泛应用的高性能大直径管桩抗裂弯矩1.37~1.61倍。极限弯矩是PHC1200B管桩的1.2倍, 是PHC1200C管桩的0.92倍, 可见, 改进型后张法大管桩具有优异的抗裂性能。

表5 改进型后张法大管桩抗弯性能与现有高性能管桩的

桩型	抗弯性能对比	
	抗裂弯矩/(kN·m)	极限弯矩/(kN·m)
改进型后张法大管桩	2 681	3 617
PHC1200B管桩	1 668	3 002
PHC1200C管桩	1 962	3 924
D1200B48-1管桩	1 941	

3.4 管桩抗弯试验悬臂端长度分析

在桩管节接头抗弯试验时, 管桩两端外壁的前后侧出现2条顺桩向裂缝 (图6), 两端内壁上下两侧也出现2条顺桩向裂缝, 最大裂缝宽度达0.3 mm, 尤其是4#后张法大管桩抗弯试验过程中两端先于跨中出现裂缝, 两端外壁开裂可能导致预应力束预应力释放, 管桩的有效预压应力降低, 从而导致抗弯性能降低, 导致不能准确测试桩的抗裂弯矩和极限弯矩。

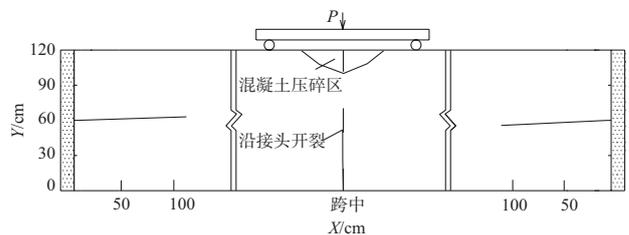


图6 6#管桩裂缝分布

分析可知, 导致管桩两端开裂的主要原因有2个: 1) 后张法施工工艺中, 锚具切割会导致两端管口一定区域内的预应力放张, 导致管口附近混凝土有效预压应力减小, 混凝土抗拉性能降低; 2) 抗弯试验两端支点在桩身下部产生集中力, 使管口外壁侧面和内壁上下部混凝土产生拉应力。

增加悬臂端长度可有效解决上述问题。规范^[7]

中建议的悬臂端长度为 $0.2L$ ，但悬臂端增长，相应的试验跨度就缩小，对试验反力设备的要求也更高。随着管桩抗弯性能的提高，现有的试验设备大多不能满足新型管桩的试验要求，而改造试验设备需要极大的成本。

分析管节本身抗弯试验结果可知，悬臂端的长度大约为 $0.1L$ （约2倍桩外径），3根桩的试验过程中，桩端均未发生开裂，说明规范中 $0.2L$ 悬臂端相对保守。分析管节接头抗弯试验结果可知，悬臂端长度为 $0.05L$ （ 0.67 倍桩外径），3根试验桩两端均出现开裂现象，开裂长度都约为 1.3 m ，约为 $0.08L$ （1倍桩外径）。因此，笔者认为悬臂端的长度可以控制在 $0.08L\sim 0.1L$ ，既不会因桩端开裂影响试验测试结果，也可以有效降低试验成本。

4 结论

1) 改进型后张法大管桩的抗裂弯矩、极限弯矩均超过设计要求，达到了设计预期，有极大的推广价值。

2) 改进型后张法大管桩的桩身裂缝集中分布在跨中纯弯段范围内，与理论分析及前人的试验研究结果吻合。

3) 改进型后张法大管桩的抗裂弯矩有很大提高，而极限抗弯承载力提高不明显，因此，小范围内提高混凝土有效预应力能提高管桩抗裂性能。

4) 改进型后张法大管桩的抗弯性能受管节接头抗弯性能的制约，提高管节接头的抗弯性能可有效提高管桩的抗弯性能。

5) 在混凝土管桩抗弯试验设计时，两端悬臂端的最佳长度宜为 $0.08L\sim 0.1L$ ，既不影响试验结果，又可以降低试验成本。

参考文献:

[1] 刘俊伟, 张忠苗, 于秀霞, 等. 预应力混凝土管桩抗弯及抗剪性能试验研究[J]. 建筑技术, 2010, 41(12): 1 101-1 104.
 [2] 张忠苗, 刘俊伟, 谢志专, 等. 新型混凝土管桩抗弯剪性能试验研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 2(33): 271-277.
 [3] 卓杨, 曹进捷, 邱松. 大直径离心钢管混凝土管桩抗弯承载力研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 2(33): 135-138.
 [4] 邓友生. 预应力混凝土管桩的应用研究及发展前景[J]. 建筑技术, 2003, 34(4): 263-266.
 [5] JGJ 94—1994 建筑桩基技术规范[S].
 [6] JTS 167-6—2011 港口工程后张法预应力混凝土大管桩设计与施工规程[S].
 [7] GB 13479—2009 先张法预应力混凝土管桩[S].
 [8] GB 50152—1992 混凝土结构试验方法标准[S].

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第163页)

参考文献:

[1] 苏宁. 船闸大体积混凝土裂缝的控制与预防[J]. 中国水运, 2008, 8(1): 128-129.
 [2] 朱平, 王海滨, 刘宏新. 船闸工程闸室侧墙裂缝分析与处理[J]. 水运工程, 2006 (8): 116-119.
 [3] 王铁梦. 工程结构裂缝控制[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
 [4] 张雄. 混凝土结构裂缝防治技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
 [5] GB/T 50476—2008 混凝土结构耐久性设计技术规范[S].
 [6] 刘秉京. 混凝土结构耐久性设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
 [7] 京杭运河船闸扩容工程施桥、邵伯三线船闸工程建设办公室. 混凝土质量通病治理新技术研究[R]. 南京: 南京水利科学研究所, 2011.

[8] CCES01—2004 混凝土结构耐久性设计与施工指南(2005修订版)[S].
 [9] 孔繁龙, 钱文勋, 陈迅捷. 透水模板结合真空脱水工艺在船闸工程中的运用[J]. 水利水电工程学报, 2012 (3): 83-86.
 [10] 冯乃谦, 顾晴霞, 郝挺宇. 混凝土结构的裂缝与对策[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
 [11] CECS 268: 2010 水工混凝土外保温聚苯板施工技术规范[S].
 [12] 徐荣年, 徐欣磊. 工程结构裂缝控制—“王铁梦法”应用实例集[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
 [13] 彭立海. 大体积混凝土温控与防裂[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005.

(本文编辑 郭雪珍)